



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 17 571 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 S 3/19**  
H 01 S 3/085

⑳ Aktenzeichen: 197 17 571.6  
㉔ Anmeldetag: 25. 4. 97  
㉕ Offenlegungstag: 29. 10. 98

DE 197 17 571 A 1

㉑ Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

㉒ Vertreter:  
Münich . Rösler Anwaltskanzlei, 80689 München

㉓ Erfinder:  
Mikulla, Michael, Dr.-Ing., 79102 Freiburg, DE;  
Chazan, Pierre, Dr.-Ing., Colmar, FR

㉖ Entgegenhaltungen:

US 54 00 353  
US 53 92 308  
US 53 21 718  
US 52 60 822

US-Z.: Appl.Phys.Lett., 1996, Vol. 69,  
No. 11, S. 1532-1534;

US-Z.: IEEE Photonics Technology Letters, 1996,  
Vol. 8, No. 10, S. 1291-1293;

US-Z.: Journal of Lightwave Technology, 1996,  
Vol. 14, No. 10, S. 2356-2361;

US-Z.: Appl.Phys.Lett., 1996, Vol. 69, No. 16,  
S. 2324-2326;

GB-Z.: Optical and Quantum Electronics, 1996,  
Vol. 28, S. 1229-1238;

DE-Z.: Laser und Optoelektronik, 1988, Vol. 20,  
No. 4, S. 49-53;

US-Z.: IEEE Journal of Quantum Electronics,  
1975, Vol. QE-1, No. 7, S. 402-408;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉗ Diodenlaser-Oszillator oder -Verstärker mit wenigstens einer lichtleitenden Halbleiterschicht

㉘ Beschrieben wird ein Diodenlaser-Oszillator oder -Verstärker mit wenigstens einer lichtleitenden Halbleiterschicht,  
- deren Brechungsindex größer ist als der Brechungsindex von Halbleiterschichten, die die lichtleitende Halbleiterschicht umgeben und zusammen mit dieser eine optische Wellenleiterstruktur bilden, und  
- die wenigstens einen optisch aktiven Schichtbereich aufweist, innerhalb dem stimulierte Photonenemission auftritt und der einen optischen Füllfaktor aufweist, der den innerhalb des optisch aktiven Schichtbereiches vorhandenen Lichtanteil einer in der optischen Wellenleiterstruktur geführten optischen Welle beschreibt.  
Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß die lichtleitende Halbleiterschicht derart ausgestaltet ist, und/oder der Brechungsindex der lichtleitenden Halbleiterschicht sowie der Brechungsindex der die lichtleitende Halbleiterschicht umgebenden Halbleiterschichten derart gewählt sind, daß der optische Füllfaktor reduziert ist.

DE 197 17 571 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf einen Diodenlaser-Oszillator oder -Verstärker mit wenigstens einer lichtleitenden Halbleiterschicht, deren Brechungsindex größer ist als der Brechungsindex von Halbleiterschichten, die die lichtleitende Halbleiterschicht umgeben und zusammen mit dieser eine optische Wellenleiterstruktur bilden, und die wenigstens einen optisch aktiven Schichtbereich aufweist, innerhalb dessen stimulierte Photonenemission auftritt und der einen optischen Füllfaktor aufweist, der den innerhalb des optisch aktiven Schichtbereiches vorhandenen Lichtanteil einer in der optischen Wellenleiterstruktur geführten optischen Welle beschreibt.

Vorstehend genannte Laserdioden und Laserdiodenverstärker werden in einer Vielzahl technischer Anwendungsbereiche eingesetzt, beispielsweise in der Materialbearbeitung für Schweißvorgänge mit Kunststoffen oder Blechen, in der Drucktechnik oder auch in medizinischen Anwendungsbereichen. In allen technischen Bereichen bieten Diodenlaser bzw. Diodenlaser-Verstärker aufgrund ihrer baulichen Kompaktheit, geringen Herstellkosten, ihres hohen Wirkungsgrades sowie ihrer zu erwartenden hohen Lebensdauer erhebliche Vorteile gegenüber heutigen etablierten Strahlquellen.

Diese Vorteile lassen sich jedoch nur dann nutzen, wenn neben einer möglichst hohen Ausgangsleistung auch eine gute Strahlqualität realisiert wird. Erst nach entsprechenden Vorkehrungen zur Erzeugung einer guten Strahlqualität läßt sich durch Fokussierung der optischen Leistung die für die vorstehend erwähnten Anwendungsbereiche erforderliche Leistungsdichte erzielen.

Diodenlaser-Oszillatoren bzw. Diodenlaser-Verstärker mit optischen Ausgangsleistungen im Wattbereich und gleichzeitig guter Strahlqualität sind bisher nur in wenigen Ausführungsbeispielen bekannt geworden. Bei den bekannten Oszillatoren bzw. Verstärkern wird versucht, eine Verbesserung der Strahlqualität durch Verwendung einer trapezförmigen Kontaktgeometrie zu erreichen. In diesen Strukturen ist das aus dem Bereich der Festkörperlaser bekannte Prinzip des instabilen Resonators auf Halbleiterlaser übertragen worden. Die Verbesserung in der Strahlqualität wird hierbei ausschließlich durch die Art der Kontaktgeometrie und durch Einfügen von sogenannten Moden blenden im schmalen Bereich des Oszillators bzw. Verstärkers erzielt.

Bekannte Ausführungsbeispiele hierzu sind in den US-Druckschriften US 5 260 822, US 5 400 353, US 5 392 308, US 5 321 718 sowie in der PCT/US 93/00838 beschrieben. Zwar können mit den bekannten Bauelementen Ausgangsleistungen zwischen 1 bis 3 Watt erreicht werden, bei nahezu beugungsbegrenzter Emission, jedoch sind die zu treffenden Bauelement-spezifischen Maßnahmen für das Erreichen einer guten Strahlqualität mit hohem baulichen Aufwand verbunden.

Überdies verbleibt auch bei den bekannten Bauelementen das grundsätzliche Problem, daß bei Halbleiterlasern mit hoher Ausgangsleistung und guter Strahlqualität der sogenannte Effekt der "Selbstfokussierung" der optischen Strahlung im Laserresonator zum Phänomen der Strahlfilamentierung führt. Dieses Phänomen resultiert aus der Wechselwirkung zwischen der im Halbleitermaterial verstärkten optischen Welle und der durch den Pumpstrom vorgegebenen Ladungsträgerdichte. Die Verstärkung der optischen Welle bewirkt eine ortsabhängige Reduktion der Ladungsträgerdichte, was auch als "räumliches Lochbrennen" bekannt ist. Im Gleichgewichtszustand ergibt sich eine ortsabhängige Ladungsträgerdichteverteilung im Bauelement, was zu einer

inhomogenen Verteilung des komplexen Brechungsindex zur Folge hat. Durch eine derartige Veränderung des komplexen Brechungsindex kommt es jedoch zur lokalen Fokussierung der Strahlung, der sogenannten Filamentierung. Das Strahlprofil im Laser-Oszillator oder Laser-Verstärker wird infolge dessen räumlich stark inhomogen, wodurch die emittierte Strahlung nicht mehr beugungsbegrenzt ist und eine entsprechend schlechte Fokussierbarkeit aufweist.

Das Phänomen der Strahlfilamentierung ist zum einen abhängig vom verwendeten Halbleitermaterial, zum anderen von der Resonatorgeometrie sowie der örtlichen Leistungsdichte in der wellenführenden Schicht einer Doppelheterostruktur des Diodenlasers. Grundsätzlich nimmt mit steigender Leistungsdichte die Strahlqualität dadurch ab.

Ein weiteres Problem bei Dioden-Lasern sowie -Verstärkern mit hoher Ausgangsleistung ist das Anschwingen von vielmodigen Laser-Oszillationen bei geringen Pumpstromdichten, die es gilt, im Lichte der Gewinnsteigerung nur eines einzigen Lasermodes zu unterdrücken. Gängige Maßnahmen hierzu sind die Entspiegelung der Resonatorfacetten und/oder die Verwendung sogenannter "Cavity-Spoiler" in trapezförmig ausgebildeten Resonatorstrukturen, wie sie in der vorstehend zitierten PCT/US 93/00838 beschrieben wird. Der hohe optische Gewinn des Halbleitermaterials führt jedoch dazu, daß trotz dieser Maßnahmen die Laserschwelle bereits bei moderaten Pumpstromdichten erreicht wird. Das Anschwingen des Verstärkers als Laser-Oszillator kennzeichnet daher die maximale Stromdichte für den Verstärkerbetrieb. Die Ausgangsleistung von Halbleiter-Verstärkern ist aus diesem Grunde bislang auf wenige Watt beschränkt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Diodenlaser-Oszillator oder -Verstärker mit wenigstens einer lichtleitenden Halbleiterschicht, deren Brechungsindex größer ist als der Brechungsindex von Halbleiterschichten, die die lichtleitende Halbleiterschicht umgeben und zusammen mit dieser eine optische Wellenleiterstruktur bilden, und die wenigstens einen optisch aktiven Schichtbereich aufweist, innerhalb dessen stimulierte Photonenemission auftritt und der einen optischen Füllfaktor aufweist, der den innerhalb des optisch aktiven Schichtbereiches vorhandenen Lichtanteil einer in der optischen Wellenstruktur geführten optischen Welle beschreibt, derart weiterzubilden, daß zum einen das Phänomen der Strahlfilamentierung unterdrückt werden soll, wodurch höhere Ausgangsleistungen mit einer nahezu beugungsbegrenzten Strahlqualität zu erhalten ist. Zum anderen soll in Halbleiter-Laserverstärkern bei möglichst geringem herstellungstechnischen Aufwand das Anschwingen von Lasermodes im Resonatorbereich unterdrückt werden.

Die Lösung der der Erfindung zugrundeliegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 beschrieben. Den Erfindungsgedanken vorteilhaft weiterbildende Merkmale sind Gegenstand der Unteransprüche.

Erfindungsgemäß ist der Diodenlaser-Oszillator oder -Verstärker mit wenigstens einer lichtleitenden Halbleiterschicht gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 derart weitergebildet, daß die lichtleitende Halbleiterschicht in einer Weise ausgestaltet ist und/oder der Brechungsindex der lichtleitenden Halbleiterschicht sowie der Brechungsindex der die lichtleitende Halbleiterschicht umgebenden Halbleiterschichten derart gewählt sind, daß der optische Füllfaktor reduziert ist. Auf diese Weise wird der modale optische Gewinn verringert.

Die Reduzierung des optischen Füllfaktors kann man durch geeignete Wahl und Dimensionierung epitaktischer Schichtstrukturen erreichen. Die erfindungsgemäße Idee, den optischen Füllfaktors der lichtleitenden Halbleiter-

schicht zu reduzieren, geht von folgender Überlegung aus: Die Ursache für das Phänomen der Strahlfilamentierung liegt in der Änderung des komplexen Brechungsindex infolge stimulierter Emission innerhalb des Halbleitermaterials. Der differentielle komplexe Brechungsindex  $\delta n(n)$  läßt sich wie folgt darstellen:

$$\delta n(n) = 1/2k \cdot \delta g_m(n) \cdot [i - \alpha].$$

Darin sind  $g_m(n)$  der modale Gewinn des Halbleitermaterials, der aus dem Produkt des Materialgewinns  $g(n)$  des optisch aktiven Schichtbereiches mit dem Füllfaktor  $\Gamma$  besteht. Der Füllfaktor ist durch den Überlapp zwischen dem Modenprofil im optischen Wellenleiter und dem optisch aktiven Schichtbereich definiert. Ferner gibt  $n$  die lokale Ladungsträgerdichte im verstärkenden Material, d. h. dem Material innerhalb des optisch aktiven Schichtbereiches an,  $\alpha$  den Linienverbreiterungsfaktor,  $k$  die Wellenzahl im Vakuum. Mit  $i = \sqrt{-1}$  wird der Imaginärteil des komplexen Brechungsindex berücksichtigt.

Eine Änderung des Brechungsindex  $\delta n(n)$  ist über den differentiellen modalen Gewinn  $g_m(n)$  mit der Ladungsträgerdichte  $n$  verknüpft. Ferner weist der Materialgewinn  $g(n)$  eine logarithmische Abhängigkeit von der lokalen Ladungsträgerdichte  $n$  auf und ist durch das verwendete Halbleitermaterial innerhalb der optisch aktiven Schicht vorgegeben. Somit weist auch der Materialgewinn  $g(n)$  eine nahezu logarithmische Abhängigkeit von der Pumpstromdichte auf.

Aufgrund der vorstehend genannten Zusammenhänge folgt, daß eine optisch aktive Halbleiterschicht mit verringertem Füllfaktor  $\Gamma$  einen kleineren differentiellen modalen Gewinn  $\delta g_m(n)$  aufweist. Es folgt ferner, daß eine derartige Schichtstruktur bei gleicher Änderung der Ladungsträgerdichte  $n$  einen kleineren differentiellen Brechungsindex  $\delta n(n)$  aufweist und damit eine geringere Empfindlichkeit bezüglich des Phänomens der Strahlfilamentierung zeigt. Die Filamentierung ist infolgedessen durch die Verwendung einer optisch aktiven Halbleiterschicht mit kleinerem optischen Füllfaktor  $\Gamma$  zu unterdrücken.

Zur Reduzierung des optischen Füllfaktors einer optisch aktiven Halbleiterschicht innerhalb eines Diodenlaser-Oszillators oder -Verstärkers sind grundsätzlich zwei Maßnahmen alternativ oder in Kombination zu treffen.

Im Falle klassischer Diodenlaserschichtanordnungen, in denen die Lichterzeugung durch stimulierte Photoemission in der Schicht mit dem höheren Brechungsindex erfolgt in der auch zugleich die Wellen hauptsächlich durch optische Wellenführung geführt und verstärkt wird, wie beispielsweise in klassischen AlGaAs-Diodenlaser, betragen typische Füllfaktoren ca. 30%. Bei derartigen Schichtanordnungen ist zur Reduktion des optischen Füllfaktors die lichtleitende Halbleiterschicht vertikal zur Richtung der Wellenführung schmaler auszuführen, so daß ein möglichst geringer Wellenanteil in dem optisch aktiven Schichtbereich vorhanden ist. Alternativ oder zusätzlich ist der Brechungsindexunterschied zwischen der lichtleitenden Halbleiterschicht sowie der diese Schicht umgebenden Halbleiterschichten zu reduzieren, so daß das Wellenprofil möglichst flach über dem optisch aktiven Halbleiterbereich verläuft. Typische Dimensionierungen für die Dicke der lichtleitenden, optisch aktiven Halbleiterschicht betragen dann weniger als  $0,05 \mu\text{m}$  und für die einzustellenden Brechungsindex-Unterschiede sind etwa  $0,05$  zwischen der aktiven und den umgebenden Schichten einzustellen.

Eine weitere Möglichkeit den modalen optischen Gewinn zu reduzieren, um damit eine Verbesserung der Strahlqualität zu erreichen, wobei der optische Füllfaktor reduziert wird, ist die Verwendung von Quantum-Wells innerhalb der

lichtleitenden Halbleiterschicht. Durch die räumliche Trennung zwischen den optisch aktiven, epitaktisch eingebrachten Quantum-Wells und der lichtleitenden Halbleiterschicht kann die Reduktion des optischen Füllfaktors durch geeignete Dimensionierung von Wellenleiter und Quantum Well erreicht werden.

Neben der Wahl der Anzahl der in der lichtleitenden Halbleiterschicht vorzusehenden Quantum-Wells, die typischerweise eine Strukturdicke von 3 bis 5 nm aufweisen, kann der optische Füllfaktor auch zusätzlich durch die Variation der lateralen Breite der lichtleitenden Halbleiterschicht verändert und beeinflusst werden.

Ebenso kann durch asymmetrische Anordnungen der Quantum-Wells innerhalb der lichtleitenden Halbleiterschicht, d. h. gezielte Platzierung der Quantum-Wells innerhalb der lichtleitenden Halbleiterschicht in Schichtbereiche, in denen das Modenprofil möglichst flach verläuft, der optische Füllfaktor gezielt reduziert werden.

Die vorstehend beschriebenen Maßnahmen können in Abhängigkeit der verwendeten Materialsysteme, aus denen die Diodenlaser-Oszillatoren bzw. -Verstärker aufgebaut sind, in geeigneter Weise kombiniert werden.

Eine weitere Verbesserung der Strahlqualität ist durch die Verwendung von inhomogen gepumpten Resonator- bzw. -Verstärker-Strukturen zu erzielen. Beispielsweise ist dies durch die Verwendung von strukturierten elektrischen Kontakten der Dioden oder durch die Protonenimplantation der Schichtbereiche, in denen der Stromfluß ganz oder teilweise unterbunden werden soll, zu erzielen.

Insbesondere bei dem Betrieb einer Halbleiterlaserstruktur als Verstärker ist dafür zu sorgen, daß die optischen Verluste in der Resonatorgeometrie höher einzustellen sind als die optische Verstärkung, die durch den modalen Gewinn eingegeben ist. Neben den zum Teil kostenaufwendigen und umständlichen Methoden, um die optischen Verluste zu vergrößern, die vorstehend zum Stand der Technik beschrieben sind, eignet sich die erfindungsgemäße Verwendung von epitaktischen Schichtstrukturen mit kleinem modalen Gewinn, d. h., kleinem optischen Füllfaktor. Die Verwendung derartiger Schichtstrukturen läßt nicht nur eine deutliche Erhöhung der Laserschwelle und damit höhere Ausgangsleistung im Verstärkerbetrieb zu, sondern führt insbesondere auch zu einer wesentlichen Verbesserung der Strahlqualität. Zusätzlich können durch inhomogen gepumpte Schichtstrukturen die Strahlqualität verbessert werden.

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung exemplarisch beschrieben. Es zeigen

Fig. 1 Diagramm zur Gegenüberstellung einer Quantum-Well-Struktur mit verschiedenen optischen Füllfaktoren modalen Gewinn- und Stromdichte,

Fig. 2 schematischer Schichtaufbau einer Laserstruktur mit einer symmetrisch angeordneten Quantum-Well-Struktur,

Fig. 3 schematischer Schichtaufbau einer Laserstruktur mit einer Quantum-Well-Struktur sowie verschmälert lichtleitenden Halbleiterschicht,

Fig. 4 schematischer Schichtaufbau einer Laserstruktur mit asymmetrisch zum lichtleitenden Halbleiterbereich angeordneten Quantum-Well sowie

Fig. 5 trapezförmig ausgebildete Laserdiode mit "Cavity-Spoiler".

Aus Fig. 1 ist ein Diagramm zur Erläuterung der Auswirkung der Verkleinerung des optischen Füllfaktors  $\Gamma$  auf den damit verbundenen modalen Gewinn, der bei unterschiedlichen Pumpstromdichten erreichbar ist, dargestellt. Die Abszisse des Diagrammes entspricht der Pumpstromdichte in

Einheiten  $[A/cm^2]$ . Die Ordinate entspricht dem modalen Gewinn in Einheiten  $[1/cm]$ . Die beiden in dem Diagramm eingezeichneten Funktionsverläufe entsprechen jeweils einer Quantum-Well-Struktur mit einer Dicke von 8 nm, die symmetrisch zu einer lichtleitenden Halbleiterschicht vorgesehen ist. Durch geeignete Maßnahmen entspricht der linke Diagrammverlauf einer Schichtanordnung mit einem optischen Füllfaktor  $F$  von 2,6%, wohingegen der rechte und flacher verlaufende Diagrammverlauf einer Anordnung mit einem optischen Füllfaktor von nur  $\Gamma = 1,3\%$  entspricht. Bei einem durch die Resonatorgeometrie vorgegebenen Arbeitspunkt von  $g = 20/cm$  ergeben sich in beiden Fällen unterschiedliche Schwellstromdichten, die im Falle der Anordnung mit einem optischen Füllfaktor von 1,3% über der Anordnung mit einem optischen Füllfaktor von 2,6% liegt. Entscheidend jedoch ist der Unterschied im differentiellen modalen Gewinn zwischen den beiden in der Figur dargestellten Diagrammverläufe. So besitzt die Struktur mit dem optischen Füllfaktor  $\Gamma = 1,3\%$  durch den kleineren Füllfaktor und die logarithmische Abhängigkeit der Gewinnkurve von der Stromdichte einen kleineren differentiellen modalen Gewinn, d. h. die Steigung der Funktion im Arbeitspunkt ist um etwa den Faktor 4 kleiner ist als die Steigung dem Graphens für die Struktur mit dem optischen Füllfaktor  $\Gamma = 2,6\%$ . Der differentielle modale Gewinn ist jedoch entscheidend für die Änderung des komplexen Brechungsindex, wie es aus der vorstehend genannten Formel hervorgeht.

Eine geringere Änderung des optischen Gewinns mit einer lokalen Pumpstrom- bzw. Ladungsträgerdichteänderung im verstärkenden Halbleiterbereich führt ebenso zu einer kleineren Änderung des komplexen Brechungsindex. Auf diese Weise wird die Selbstfokussierung und das Einsetzen der Strahlfilamentierung entscheidend unterdrückt.

In Fig. 2 ist ein schematischer Schichtaufbau einer Laserstruktur, vorzugsweise im InAlGaAs-Materialsystem angegeben. An der nach oben gerichteten Ordinatenachse ist der Aluminiumgehalt, an der nach unten gerichteten Ordinatenachse ist der Indiumgehalt eines Galliumarsenid-Substrates angetragen. Der lichtleitende Halbleiterschichtbereich LH weist eine Breite von 1  $\mu m$  auf, der beidseitig von Halbleiterschichten umgeben ist, die einen höheren Aluminiumgehalt aufweisen und somit einen geringeren Brechungsindex besitzen. Symmetrisch und mittig zum lichtleitenden Halbleiterbereich ist ein Bereich 1 mit 0% Al-Gehalt vorgesehen, der dem besseren Ladungsträgereinfang dient und der zudem symmetrisch eine Quantum-Well-Struktur 2 aufweist. Für einen Kernbereich der lichtleitenden Halbleiterschicht LH von 1  $\mu m$  und einem 8 nm breiten Quantum-Well wird ein optischer Füllfaktor von etwa 1,3% bei einer Emissionswellenlänge von ca. 1020 nm erreicht.

Im Unterschied zu der Schichtanordnung gemäß Fig. 2 weist die Schichtanordnung gemäß Fig. 3 einen verschmälerten lichtleitenden Halbleiterschichtbereich LH mit einer Breite von 0,5  $\mu m$  auf. Im gleichen Maße ist die Breite der Quantum-Well-Struktur 2 auf nur 4 nm Dicke verkleinert worden, so daß ein optischer Füllfaktor von ebenfalls ca. 1,3% resultiert.

Im Unterschied zu der vorstehend symmetrischen Anordnung der Quantum-Well-Struktur innerhalb der lichtleitenden Halbleiterschicht zeigt Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel, in dem die Quantum-Well-Struktur 2 mit einer Dicke von 8 nm asymmetrisch zur 0,5  $\mu m$  breiten lichtleitenden Halbleiterschicht LH angeordnet ist. Zusätzlich zur Schichtenfolge ist ein Wellenprofil WP in den Bereich der lichtleitenden Schicht eingezeichnet, durch das deutlich wird, daß die optisch aktive Schicht mit der Quantum-Well-Struktur 2 nicht mit dem Maximum des Wellenprofils übereinstimmt. Somit gelangen weniger Photonen in Bereich 2, wodurch

der optische Füllfaktor erheblich reduziert werden kann.

Die vorstehend genannten Ausführungsbeispiele, die mit InAlGaAs/GaAs-Materialsystemen realisiert worden sind, können jedoch auch bei entsprechendem Design von Wellenleiterstruktur sowie aktiver Zonen auf andere Materialsysteme, wie beispielsweise InAlGaAsP/InP, InGaAsSb etc. übertragen werden.

Ebenso sind die erfindungsgemäßen Maßnahmen zur Reduzierung des optischen Füllfaktors auf kantenemittierende oder oberflächenemittierende Laserdioden zugleich anwendbar.

Grundsätzlich ist eine erfindungsgemäße Verbesserung der Strahlqualität sowohl in indexgeführten als auch in gewinngeführten Diodenstrukturen zu verzeichnen. Eine besonders deutliche Verbesserung ist in Strukturen mit überwiegender Gewinnführung zu erwarten. Dazu zählen neben Breitstreifenlasern und -Verstärkern insbesondere trapezförmige Resonatorgeometrien und ganz allgemein instabil arbeitende Resonatoren und Verstärker. Ein mögliches Ausführungsbeispiel ist in Fig. 5 dargestellt, das eine trapezförmige Laserdiode mit "Cavity Spoilern" und einem inhomogen gepumpten Resonatorbereich zur Unterdrückung der Strahlfilamentierung zeigt. Hierbei weist der Resonator bzw. die optisch aktive Halbleiterschicht eine Länge von typischerweise 2000  $\mu m$  auf. Ein Resonatorende ist mit Cavity-Spoilern CS ausgestattet und weist einen Reflexionsgrad von 90% auf, wohingegen die geometrisch aufgeweitete gegenüberliegende Resonatorseite mit einer Breite von vorzugsweise 200  $\mu m$  lediglich einen Reflexionsgrad von 0,1% aufweist.

Durch die Verwendung einer derartigen Schichtstruktur kann die Laserschwelle in Diodenlaser-Verstärkern wirkungsvoll erhöht werden, so daß gegenüber konventionellen Schichtstrukturen deutlich höhere Ausgangsleistungen bei verbesserter Strahlqualität erzielbar sind.

Mit den beschriebenen erfindungsgemäßen Maßnahmen zur Reduzierung des optischen Füllfaktors, beispielsweise unter Verwendung gezielt eingebrachter epitaktischer Schichtstrukturen sind Diodenlaser und Diodenlaser-Verstärker realisierbar, die Ausgangsleistungen im Multiwatt-Bereich mit nahezu beugungsbegrenzter Strahlqualität erzielen. Damit sind effiziente und kostengünstige Strahlquellen für die Materialbearbeitung realisierbar.

#### Patentansprüche

1. Diodenlaser-Oszillator oder -Verstärker mit wenigstens einer lichtleitenden Halbleiterschicht,
  - deren Brechungsindex größer ist als der Brechungsindex von Halbleiterschichten, die die lichtleitende Halbleiterschicht umgeben und zusammen mit dieser eine optische Wellenleiterstruktur bilden, und
  - die wenigstens einen optisch aktiven Schichtbereich aufweist, innerhalb dem stimulierte Photonenemission auftritt und der einen optischen Füllfaktor aufweist, der den innerhalb des optisch aktiven Schichtbereiches vorhandenen Lichtanteil einer in der optischen Wellenleiterstruktur geführten optischen Welle beschreibt, **dadurch gekennzeichnet**, daß die lichtleitende Halbleiterschicht derart ausgestaltet ist, und/oder der Brechungsindex der lichtleitenden Halbleiterschicht sowie der Brechungsindex der die lichtleitende Halbleiterschicht umgebenden Halbleiterschichten derart gewählt sind, daß der optische Füllfaktor reduziert ist.
2. Diodenlaser-Oszillator oder -Verstärker nach An-

spruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die lichtleitende Halbleiterschicht vollständig dem optisch aktiven Schichtbereich entspricht.

3. Diodenlaser-Oszillator oder -Verstärker nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die lichtleitende Halbleiterschicht vertikal zur Richtung der Wellenführung schmaler ausgeführt ist und/oder der Brechungsindexunterschied zwischen der lichtleitenden Halbleiterschicht sowie der diese Schicht umgebenden Halbleiterschichten reduziert ist, so daß ein möglichst geringer Wellenanteil in dem optisch aktiven Schichtbereich vorhanden ist.

4. Diodenlaser-Oszillator oder -Verstärker nach einem der Ansprüche 1 bis 3 dadurch gekennzeichnet, daß der optische Füllfaktor von typischerweise 30% auf etwa die Hälfte reduziert ist.

5. Diodenlaser-Oszillator oder -Verstärker nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Breite der lichtleitenden Halbleiterschicht  $\leq 0.05 \mu\text{m}$  beträgt.

6. Diodenlaser-Oszillator oder -Verstärker nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Brechungsindexunterschied 0.05 zwischen der aktiven Schicht und den umgebenden Schichten beträgt.

7. Diodenlaser-Oszillator oder -Verstärker nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in der lichtleitenden Halbleiterschicht wenigstens eine Quantum-Wellstruktur vorgesehen ist, vorzugsweise ein oder zwei Quantum-Wells, die dem optisch aktiven Schichtbereich entspricht.

8. Diodenlaser-Oszillator oder -Verstärker nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Quantum-Wellstruktur eine Schichtdicke vorsieht, die um wenigstens eine, vorzugsweise 2 bis 3 Größenordnungen kleiner ist als die Dicke der lichtleitenden Halbleiterschicht.

9. Diodenlaser-Oszillator oder -Verstärker nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichtdicke der Quantum-Wellstruktur 3 bis 5 nm beträgt.

10. Diodenlaser-Oszillator oder -Verstärker nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Quantum-Wellstruktur asymmetrisch innerhalb der lichtleitenden Halbleiterschicht angeordnet ist.

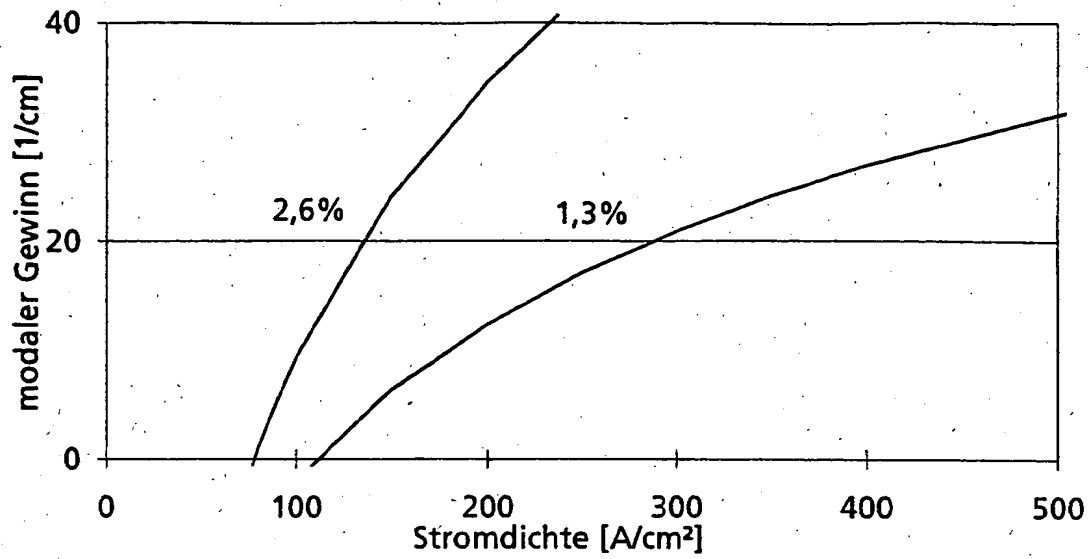
11. Diodenlaser-Oszillator oder -Verstärker nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Füllfaktor 1 bis 2 Prozent beträgt.

12. Diodenlaser-Oszillator oder -Verstärker nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß im optisch aktiven Schichtbereich Ladungsträger inhomogen anregbar sind, durch

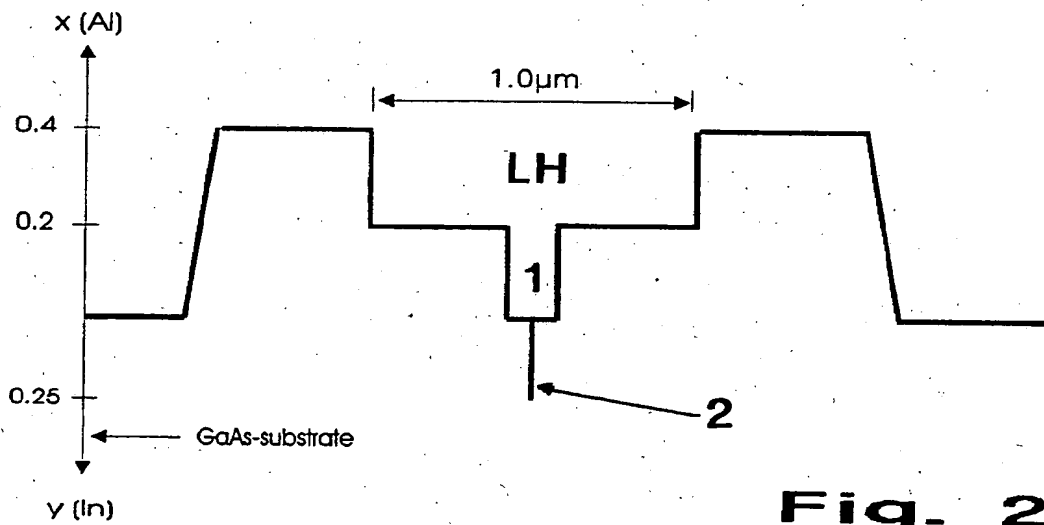
i) Strukturierung elektrischer Kontaktbereiche des Diodenlaser-Oszillators oder -Verstärkers, so daß der optisch aktive Schichtbereich inhomogen mit Pumpstrom versorgbar ist, und/oder

ii) Protonenimplantation in Halbleiterschichtbereichen, die den optisch aktiven Schichtbereich umgeben, zur gezielten gänzlichen oder teilweisen Unterbindung eines Ladungsträgerflusses.

13. Diodenlaser-Oszillator oder -Verstärker nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß in Abhängigkeit des verwendeten Materialsystems die vorstehend genannten Merkmale der Ansprüche 1 bis 12 in Kombinationen anwendbar sind.



**Fig. 1**



**Fig. 2**

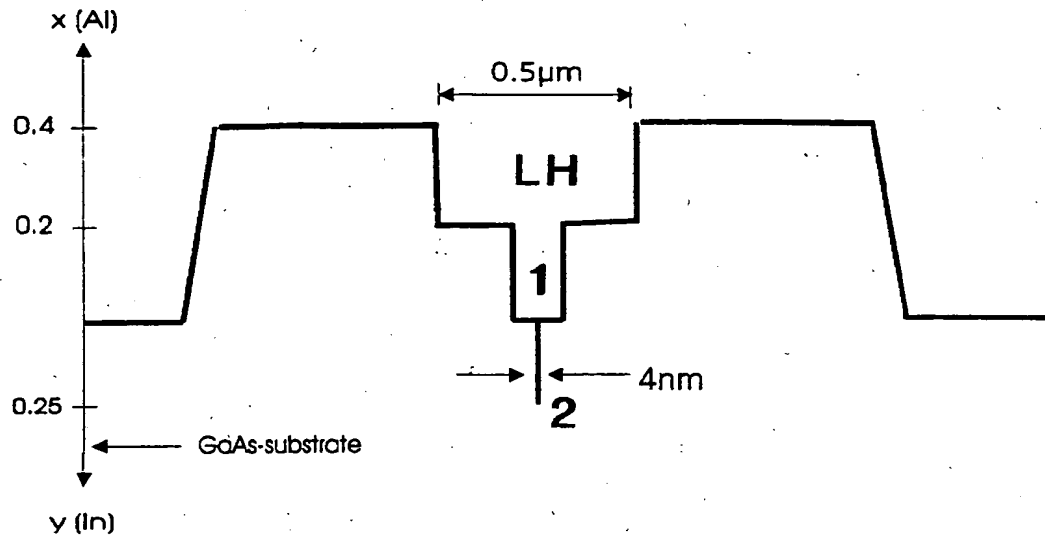


Fig. 3

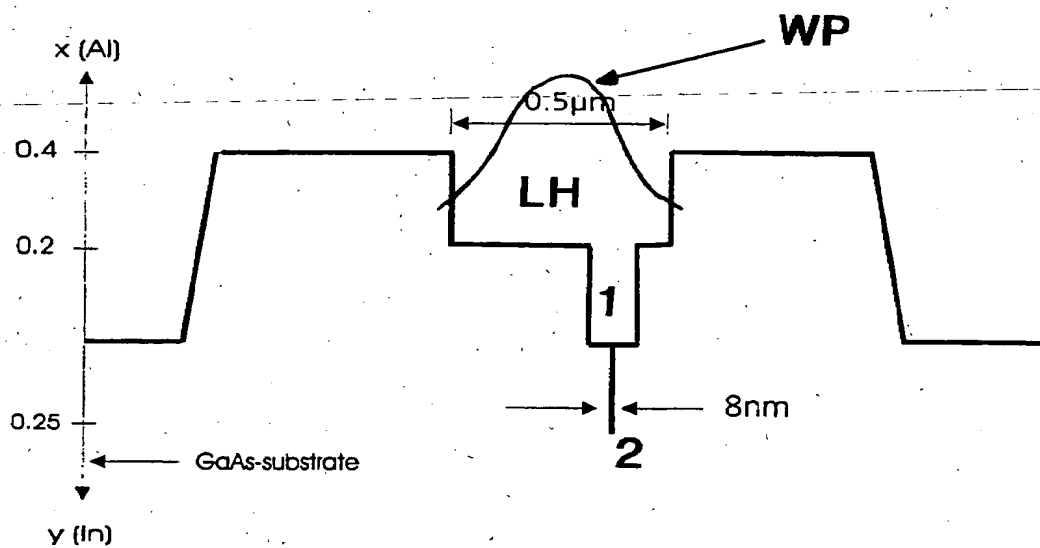
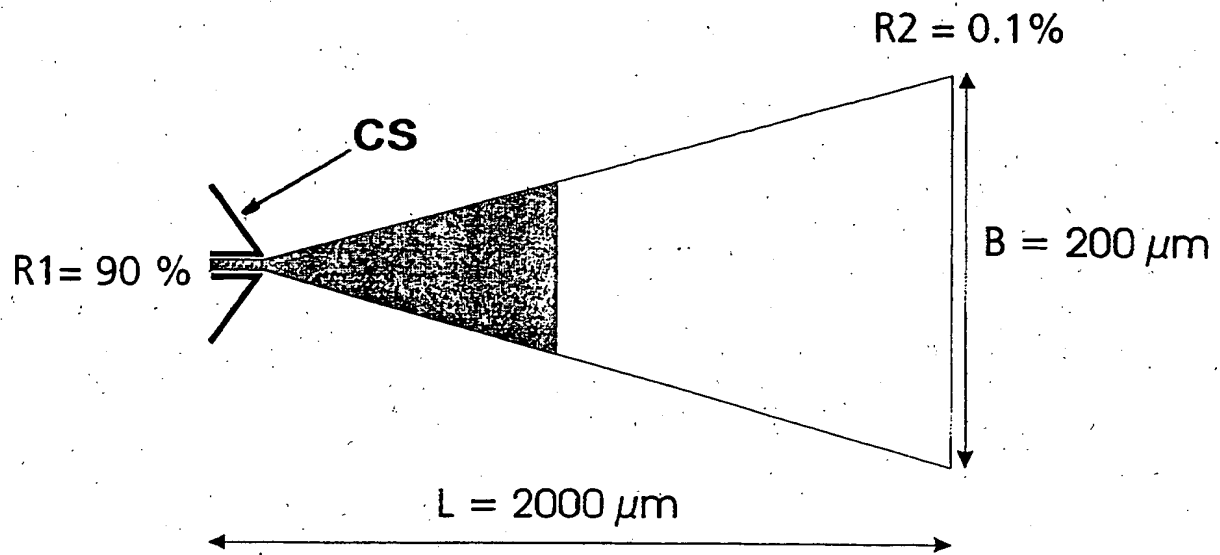


Fig. 4



**Fig. 5**